Ontologie de la relativité générale

Nicolae Sfetcu

21.06.2019

Sfetcu, Nicolae, « Ontologie de la relativité générale », SetThings (21 juin 2019),DOI: 10.13140/RG.2.2.11533.38886, URL =https://www.telework.ro/fr/ontologie-de-la-relativite-generale/

Email:nicolae@sfetcu.com

Cet article est sous licence Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International. Pour voir une copie de cette licence, visitezhttp://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/.

Une traduction partielle de :
Sfetcu, Nicolae, " The singularities as ontologicallimits of the generalrelativity ", SetThings (June 1, 2018), MultiMedia Publishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.14521.06241/1, ISBN: 978-606-033-136-0, URL = https://www.telework.ro/en/e-books/the-singularities-as-ontological-limits-of-the-general-relativity/

Dans la vision classique, l'espace et le temps sont des conteneurs ; la matière est le contenu. La propriété distinctive de la matière est qu'elle transporte de l'énergie et des impulsions, préservée dans le temps, ce qui donne à ces impulsions un caractère ontologique fondamental. (Norton 2012)

La relativité générale (RG) a généré diverses interprétations philosophiques anciennes. Ses adhérents ont mis en avant la « relativisation de l'inertie » et le concept de simultanéité, les kantiens et les néo-kantiens ont souligné l'approche de certaines « formes intellectuelles » synthétiques (en particulier le principe de covariance générale), et les empiriques logiques ont souligné la signification philosophique méthodologique de la théorie.

Reichenbach a abordé RG à travers la thèse de la « relativité géométrique », en essayant de construire une « axiomatisation constructive » (Rendall 2005)basée sur des « problèmes élémentaires de fait » (*Elementaratbestande*) concernant le comportement observable des rayons lumineux, des tiges et montres.

Le mathématicien Hermann Weyl a tenté de reconstituer la théorie d'Einstein en se basant sur l'épistémologie d'une « géométrie infinitésimale pure », une géométrie étendue avec des termes supplémentaires qui s'identifiaient formellement au potentiel du champ électromagnétique. (Weyl and Weyl 1993, 115–16)

Thomas Ryckman déclare que le programme de la théorie des champs géométriques unifiés semble être inséparablement encadré dans une forme de réalisme scientifique, appelée « réalisme structurel », avec une tendance possible inspirée du platonisme. (Ryckman 2018)Dans sa forme contemporaine, le réalisme structurel a une forme épistémique et une forme « ontique », cette dernière affirmant essentiellement que les théories physiques actuelles justifient le fait que les caractéristiques structurelles du monde physique sont des fondements ontologiques, (Ladyman and Ross 2007)souscrivant à l'idée que la seule continuité ontologique en termes de changements dans la théorie physique fondamentale est la continuité de la structure. Le réalisme structurel ontique est un cadre métaphysique qui fournit une compréhension adéquate des caractéristiques des théories physiques fondamentales. Selon lui, il existe des structures dans le domaine de la physique fondamentale au sens de réseaux de relations physiques concrètes, sans que ces relations dépendent de objets physiques fondamentaux possédant une identité intrinsèque, c'est-à-dire une identité constituée de propriétés intrinsèques ou d'une primitivité (eccéité). Cette position peut prendre en compte de manière significative les caractéristiques du

GR fondamental de l'invariance du difféomorphisme et de l'indépendance de fond. (Esfeld and Lam 2008)

Certains philosophes voient une opposition entre la métaphysique traditionnellement engagée dans une priorité ontologique des objets sur les relations et le réalisme structurel ontique dédié à une priorité ontologique des relations d'objet. Les partisans du réalisme structurel ontique pensent que l'erreur qui conduit à cette conclusion réside dans la supposition de l'existence d'une distinction ontologique entre les objets, d'une part, et la propriété, y compris les relations, de l'autre. (Esfeld and Lam 2011)Ils considèrent qu'il n'y a pas de distinction ontologique entre les objets et les propriétés, y compris les relations, et donc pas de relation de dépendance ontologique entre les objets et les propriétés, y compris les relations, il n'y a donc pas de problème de priorité ontologique. La distinction n'est que conceptuelle, (Lam and Esfeld 2012)ce serait une erreur de déduire de cette forme de représentation qu'il existe des points spatio-temporels dans le monde en tant qu'entités distinctes ontologiquement des propriétés du champ métrique. Il s'ensuit que l'hypothèse d'une distinction ontologique entre objets et propriétés, y compris les relations, doit être abandonnée. Il n'y a pas de distinction ontologique entre les objets et leurs manières d'être, mais seulement une distinction conceptuelle.

Les empiristes logiques antimétaphysiques, tels que Carnap, et les néo-kantiens, tels que Cassirer (qui considérait la théorie comme un test crucial pour *Erkenntniskritik*, terme privilégié pour l'épistémologie des sciences physiques de l'idéalisme transcendantal de Marx) ont joué un rôle important dans les débats sur l'ontologie de la relativité générale et le développement du concept moderne de catégorisation en sémantique formelle.(D. Howard 1996)Cassirer a conclu que RG présente « l'application et la réalisation les plus déterminées dans la science empirique de la position de l'idéalisme critique ». (Cassirer 1921)

Einstein, en collaboration avec Schlick et Reichenbach, a développé une nouvelle forme d'empirisme, appropriée à l'argumentation de la relativité générale contre la critique néo-kantienne. (Schlick 1921)(Reichenbach 1928)

L'idée de Mach selon laquelle la masse et le mouvement inertiel du corps résultent de l'influence de toutes les autres masses environnantes (en éliminant le concept d'espace absolu) a fortement influencé Einstein dans la tentative épistémologique de généraliser le principe de relativité, combinant un principe valide d'invariance des formes de lois naturelles (covariance générale) avec une fausse « relativité générale » de mouvements accélérés. (Ryckman 2018)

Einstein n'était pas un réaliste scientifique, mais il pensait qu'il y a un contenu théorique au-delà du contenu empirique, que la science théorique nous ouvre une fenêtre sur la nature, même si en principe il n'y aurait pas une seule explication correcte au niveau de l'ontologie profonde. (D. A. Howard 2017)

Dans ce contexte, la nature et le rôle des conventions en science ont fait l'objet d'un débat permanent jusqu'à la fin de la vie d'Einstein, (Schilpp and Schilpp 1959)si le choix de la géométrie est empirique, conventionnel ou a priori. Duhem (Duhem, Vuillemin, and Broglie 1991)estime qu'en physique les hypothèses ne sont pas testées isolément, mais seulement dans le cadre de la théorie dans son ensemble (holisme théorique et sous-estimation du choix de la théorie par des preuves empiriques). Dans un discours à Max Planck en 1918, Einstein aborda la question de la sous-détermination :

> « La tâche ultime du physicien est ... de rechercher les lois fondamentales les plus générales à partir desquelles l'image du monde doit être obtenue par pure déduction. Aucun chemin logique ne mène à ces lois fondamentales ; ce n’est que l’intuition qui repose sur une compréhension empathique de l’expérience. Dans cet état d’incertitude méthodologique, on peut penser qu’il est arbitrairement possible de recourir à de nombreux systèmes équivalents de principes théoriques ; et cette opinion est, en principe, certainement correcte. Mais le développement de la physique a montré que, parmi toutes les constructions théoriques imaginables, une seule se révélait toujours supérieure à toutes

> les conditions. Aucun de ceux qui ont approfondi ce sujet ne niera que, dans la pratique, le monde des perceptions détermine sans ambiguïté le système théorique, même si aucune voie logique ne mène des perceptions aux principes de base de la théorie. »(Einstein 1918, 31)

Einstein a expliqué pourquoi le choix théorique est déterminé de manière empirique dans une lettre adressée à Schlick, dans laquelle il a utilisé l'argument de Schlick sur les éléments d'une ontologie théorique :

> « Il me semble que le mot « réel » est pris de différentes manières, selon qu'il s'agit d'impressions ou d'événements, c'est-à-dire des états des affaires au sens physique.
>
> « Si deux personnes différentes suivent une physique indépendante, elles créeront des systèmes en accord avec les impressions (« éléments » au sens de Mach). Les constructions mentales faites par la variété pour relier ces « éléments » peuvent être très différentes. Les deux bâtiments ne doivent pas s'accorder sur des « événements »; parce qu'ils appartiennent certainement à des constructions conceptuelles. Bien sûr, en ce qui concerne les « éléments », mais pas les « événements », ils sont réels dans le sens où ils sont « inévitablement donnés dans l'expérience.
>
> « Mais si nous désignons comme « réels » ce que nous organisons dans le schéma spatio-temporel, comme vous l'avez fait dans la théorie de la connaissance, alors sans aucun doute, les « événements » sont avant tout réels ... Je voudrais recommander une distinction conceptuelle claire ici. » (D. A. Howard 2017)

Le point de vue d'Einstein, selon lequel la réalité physique consiste exclusivement en ce qui peut être construit sur des coïncidences espace-temps, les points espace-temps, par exemple, étant considérés comme des intersections des lignes de l'univers, est désormais appelé « argument de coïncidence ». (D. A. Howard 2017)Les coïncidences ont donc un rôle ontique privilégié car elles sont invariantes et donc déterminées de manière univoque.

La nouvelle perspective d'Einstein sur l'ontologie espace-temps a amené Schlick à affirmer que Mach considérait à tort que seuls les éléments de la sensation étaient réels, les événements spatio-temporels étant invariablement individualisés comme des coïncidences dans l'espace, ayant également le droit d'être pris en compte réel en raison de la manière univoque de leur détermination. (D. A. Howard 2017)Einstein a accepté, à condition qu'ils distinguent entre

les deux types de réalité, les éléments et les événements spatio-temporels, que « deux personnes différentes » qui poursuivaient la physique indépendamment, seront d'accord sur les éléments, mais seront en désaccord avec l'ontologie de l'événement espace-temps.

Immédiatement après l'apparition de RG, il a été question d'une réduction de la physique à la géométrie : « la physique est une pseudo géométrie à quatre dimensions [c'est-à-dire une géométrie qui distingue les dimensions spatiale et temporelle] et dont la détermination métrique est liée, selon les équations fondamentales ... de ma contribution [1915], des quantités électromagnétiques, c'est-à-dire de la matière. (Hilbert 1917, 63)

Dans RG, la densité d'énergie et l'impulsion non gravitationnelle d'un événement sont représentées par le tenseur énergie-impulsion de la matière (**T**), la structure qui code les densités d'énergie totale et les impulsions dues à toutes les formes non gravitationnelles. Einstein a défini une grandeur analogique, le tenseur énergie-impulsion pour le champ gravitationnel (**t**). T est un vrai tenseur, mais t est un pseudo tenseur, ce qui signifie que **T** peut être représenté indépendamment d'un système de coordonnées particulier, contrairement à **t**. Ainsi, aucun changement dans le système de coordonnées ne peut faire disparaître **T**, par opposition à **t** pouvant être annulée pour un certain événement. (Norton 2012)L'énergie totale et l'impulsion du système ne sont plus bien définies.

Dans RG, « l'énergie du champ gravitationnel ne peut pas être localisée ». Nous ne pouvons parler que de l'énergie gravitationnelle et de l'impulsion d'un système étendu, pas de la densité de l'énergie et de l'impulsion gravitationnelle lors d'un événement donné. (Misner et al. 2017, 20.3-20.4)

De plus, RG n'offre plus une notion précise de la force gravitationnelle, celle-ci étant « géométrisée ». La restauration de l'espace temporel de Minkowski dans les régions plates

asymptomatiques de l'espace permet d'utiliser les ressources de la relativité restreinte pour réintroduire la notion de force gravitationnelle, identifiée aux perturbations géométriques de la structure métrique de la planéité exacte requise par un espace-temps de Minkowski. (Norton 2012)

La métrique (structure métrique) espace-temps de la matière dans RG est réductible au comportement des entités matérielles (horloges, rayons, lumière, géodésique, etc.) de l'espace-temps. (Grünbaum 2012)Respectivement, la mesure espace-temps dépend toujours d'instruments de mesure choisis comme étalons de mesure et les relations métriques font intervenir les étalons choisis. Il s'ensuit que les relations métriques entre le contenu matériel de l'espace-temps ne sont pas expliquées par la métrique spatio-temporelle, mais plutôt constitutives. En même temps, dans la métrique du champ physique, les relations métriques d'un espace-temps sont déterminées par un champ physique irréductible, le champ tenseur métrique de second ordre, qui, bien que séparé des entités matérielles de l'espace-temps, explique les relations métriques entre ces entités. (Weingard 1976)

De ce point de vue, le statut épistémologique de notre conviction qu'il existe un champ métrique tensoriel est identique à celui de nos croyances sur d'autres entités théoriques, telles que les neutrinos. Comme nous postulons l'existence d'un neutrino pour expliquer le déficit énergétique observé dans la dégradation bêta, nous postulerons le champ métrique pour expliquer les différents phénomènes observés, par exemple pourquoi les particules libres dans un champ gravitationnel ont les trajectoires qu'elles ont. Et dans ce processus, le champ de tenseurs métriques aide à expliquer les relations métriques observées entre les entités matérielles. Robert Weingard affirme qu'il existe un désaccord ontologique entre les deux métriques, le premier étant

constitué par les relations entre les entités matérielles dans l'espace-temps, tandis que le second est un champ physique autonome, distinct et indivisible au contenu matériel de l'espace-temps.

Selon Robert Weingard, la métrique du champ physique fournit un rapport plus approprié de l'état ontologique des métriques dans l'espace-temps de RG. Selon cette thèse, un espace-temps vide avec une métrique bien définie est parfaitement compréhensible. Cette idée a été contredite par Grünbaum:

> « S'il n'y a pas d'entités physiques extra-géocronométriques qui spécifient (individualisent) les éléments homogènes de l'espace-temps. . . d'où proviennent ces éléments de constitution ponctuelle équivalente, ou leur identité individuelle ? Les points du monde ne devraient-ils pas être individualisés avant que la manifestation de l'espace-temps puisse même être comprise comme ayant une certaine valeur ? Je ne vois pas de réponse à cette question sur le principe d'individualisation ici dans l'ontologie de l'identité leibnizien d'indiscernable. Je ne connais aucune autre ontologie qui apporte une réponse intelligible à ce problème particulier d'individualisation d'individus homogènes. » (Grünbaum 1970)

Depuis 2000, une nouvelle approche de la nature des structures espace-temps a été mise en place, notamment dans le travail d'Oliver Pooley(Pooley 2012)et Harvey Brown.(Brown 2015) L'approche dynamique affirme que la structure spatio-temporelle de notre monde est due aux lois dynamiques (fondamentales) de leur nature et de leur symétrie, la structure espace-temps étant dérivée. Une géométrie donnée pour l'espace-temps contraint formellement les théories acceptées à celles présentant une symétrie droite. Une hypothèse de nombreux fondateurs était que cette contrainte n'était pas simplement formelle mais ontologique : la géométrie (d'où la manifestation elle-même) est plus fondamentale que les lois, ou que la géométrie fournit une explication « réelle » de la forme des lois. (Earman 1992, 125)Mais la symétrie pourrait être inversée pour que cette dernière soit déterminée ontologiquement par les lois de la théorie, ce qui donnerait à la géométrie elle-même une expression de la dynamique de la matière. (Huggett and Hoefer 2018)

Gustavo E. Romero affirme que RG est une « théorie de l'espace et du temps ». (Misner et al. 2017)L'espace-temps est l'émergence de la composition ontologique de tous les événements,(Romero 2013)étant représenté par un concept avec une représentation en 4 dimensions d'un champ métrique.

Bibliographie

Brown, Harvey R. 2015. *Physical Relativity: Space-Time Structure from a Dynamical Perspective*. Oxford University Press. http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/0199275831.001.0001/acprof-9780199275830.

Cassirer, Ernst. 1921. "Zur Einstein'schen Relativitätstheorie: Erkenntnistheoretische Betrachtungen." 1921. https://books.google.ro/books/about/Zur_Einstein_schen_Relativit%C3%A4tstheorie.html?id=I60-AAAAYAAJ&redir_esc=y.

Duhem, Pierre, Jules Vuillemin, and Louis de Broglie. 1991. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Translated by Philip Wiener. 9932nd edition. Princeton: Princeton University Press.

Earman, John. 1992. *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, Mass.: A Bradford Book.

Einstein, Albert. 1918. *Über Gravitationswellen*. Akademie der Wissenschaften.

Esfeld, Michael, and Vincent Lam. 2008. "Moderate Structural Realism about Space-Time." *Synthese* 160 (1): 27–46. https://doi.org/10.1007/s11229-006-9076-2.

———. 2011. "Ontic Structural Realism as a Metaphysics of Objects." In *Scientific Structuralism*, edited by Alisa Bokulich and Peter Bokulich, 143–159. Springer Science+Business Media.

Grünbaum, Adolf. 1970. "Space, Time and Falsifiability Critical Exposition and Reply to 'A Panel Discussion of Grünbaum's Philosophy of Science.'" *Philosophy of Science* 37 (4): 469–588.

———. 2012. *Philosophical Problems of Space and Time: Second, Enlarged Edition*. Springer Science & Business Media.

Hilbert, D. 1917. "Die Grundlagen der Physik. (Zweite Mitteilung)." *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse* 1917: 53–76. https://eudml.org/doc/58973.

Howard, Don. 1996. "Relativity, Eindeutigkeit, and Monomorphism: Rudolf Carnap and the Development of the Categoricity Concept in Formal Semantics." *Origins of Logical Empiricism* 16.

Howard, Don A. 2017. "Einstein's Philosophy of Science." In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Fall 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/einstein-philscience/.

Huggett, Nick, and Carl Hoefer. 2018. "Absolute and Relational Theories of Space and Motion." In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Spring 2018.

Metaphysics Research Lab, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/spacetime-theories/.

Ladyman, James, and Don Ross. 2007. *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*. Oxford University Press.

Lam, Vincent, and Michael Esfeld. 2012. "The Structural Metaphysics of Quantum Theory and General Relativity." *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift Für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 43 (2): 243–258.

Misner, Charles, Kip S. Thorne, John Wheeler, and David Kaiser. 2017. *Gravitation*. Princeton, N.J: Princeton University Press.

Norton, John D. 2012. "What Can We Learn About the Ontology of Space and Time From the Theory of Relativity?"

Pooley, Oliver. 2012. "Substantivalist and Relationalist Approaches to Spacetime." Preprint. 2012. http://philsci-archive.pitt.edu/9055/.

Reichenbach, Hans. 1928. *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*. Walter de Gruyter.

Rendall, Alan D. 2005. "The Nature of Spacetime Singularities." *ArXiv:Gr-Qc/0503112*, 76–92. https://doi.org/10.1142/9789812700988_0003.

Romero, Gustavo E. 2013. "The Ontology of General Relativity." *ArXiv:1301.7330 [Gr-Qc, Physics:Physics]*. http://arxiv.org/abs/1301.7330.

Ryckman, Thomas A. 2018. "Early Philosophical Interpretations of General Relativity." In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Spring 2018. Metaphysics Research Lab, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/genrel-early/.

Schilpp, Paul Arthur, and Paul Arthur Schilpp. 1959. *Albert Einstein : Philosopher-Scientist*. 1st Harper Torchbook ed. New York : Harper. https://trove.nla.gov.au/work/10548922.

Schlick, Moritz. 1921. "Kritizistische Oder Empiristische Deutung Der Neuen Physik?" *Société Française de Philosophie, Bulletin* 26 (n/a): 96.

Weingard, Robert. 1976. "On the Ontological Status of the Metric in General Relativity." The Journal of Philosophy. 1976. https://doi.org/10.2307/2025012.

Weyl, Hermann, and H. Weyl. 1993. *Raum, Zeit, Materie: Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie*. Edited by Jürgen Ehlers. 8th edition. Berlin: Springer.